

(様式 5)

2022 年 11 月 8 日
Year Month Day

学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph.D. candidate)	工学府博士後期課程機械 システム工学 専攻 (major) 2020 年度入学(Admission year) 学籍番号 20833009 氏名 羽金 昌平 (Shohei Hagane) (student ID No.) (Name)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	田川 泰敬 Yasutaka Tagawa
論文題目 (Title)	実用的で生産性の高いソーシャルロボット実現の為の技術に関する研究 Study on Essential Technologies for Practical and Productive Social Robot Development
<p>制御工学の観点から、ロボットと人間の協調、すなわち COBOTICS を主要課題として扱っている。具体的には、本論文では 3 つの研究を紹介する。一つ目は、ロボットアームがエンドエフェクタでメインタスクを行う際に、ロボットアームの運動学的冗長性を利用して感情表現動作を行う動作制御システムである。このシステムは、ロボットが一般大衆に受け入れられるためには、感情を共有することが有効であるだけでなく、生産的であることが重要であるという考えに基づいている。本手法は、運動学的な冗長性を利用するためにヌルスペース制御を用い、ヌルスペース内で運動を最大化するために可制御性楕円の概念を適用した。このロボットの様子は、Google-Form を通じて 200 人以上の人々からオンラインで評価された。その結果、人の近くで動作する産業機械を取り巻く現在のルールでは、ロボットの速度が厳しく制限され、感情表現に必要な動きごとの変化が表現できないことが分かった。しかし、不明瞭な感情行動を見た人は、感情行動に加え、やり取りの内容やロボットの視線、ロボットに対する自分の偏見などを用いて、ロボットの感情を解釈していることが示された。その他の研究は、ロボットアームにモデル予測制御 (MPC) を適用することにとり組んだ。MPC は知的な動作だけでなく、感情表現のような動的動作にも有効であると考えられるため、本論文で扱った。最初の研究では、ロボットアームの力学パラメータ同定により推定された幾何学・力学的パラメータを用いて、適応的一般化予測制御 (AGPC) を設計し、エンドエフェクタで把持する物体の変化に適応してロボットがタスクを正確に実行できるようにした。これは、線形近似関節モデルを参照モデルとして利用し、動作を通じて AGPC が参照モデルと安定性指標に基づく制御パラメータ更新を行うものである。2 つ目の研究は、一般化予測制御 (GPC) に関するものであるが、ここでは、Koopman オペレータの概念を用いてロボットの力学系を線形化することに主眼が置かれている。この Koopman オペレータの概念を用いると、ロボットの非線形力学系を線形時不変状態空間モデルで表現することができる。得られたロボットの線形状態空間モデルに対して GPC を設計し、その制御性能を従来の PD 制御器と比較した。その結果、Koopman オペレータを用いた GPC は、固定ゲインを用いた PD コントローラと比較して、広い姿勢、速度、作業範囲において一定の制御性能を維持することがわかった。</p>	

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

From the perspective of control engineering, the cooperation between robots and humans, or COBOTICS is treated as a main subject. Specifically there is three primal work in this thesis. First is a motion control system that uses the kinematic redundancy of the robot arm to perform emotional expressive motion when the robot arm performs a main task at its end-effector. This system is based on the idea of not only sharing emotion is effective in order for the robot to be accepted by the general public, but also being productive is crucial. This method uses null-space control to exploit kinematic redundancy and applied the concept of manipulability ellipsoid to maximize motion within the null space. The robot's emotions were evaluated online by more than 200 people via Google-Form. The results showed that current rules surrounding industrial machines operating near people severely limit the robot's speed and prevent it from expressing the movement-by-movement changes necessary to express emotion. However, we found that people who viewed unclear emotional behavior used the content of the interaction, the robot's gaze, and their own prejudices about the robot, in addition to the emotional behavior, to interpret the robot's emotion. Other primal works are about applying model predictive control (MPC) to the robot arm. The MPC was treated in this thesis because it ought to be useful not only for intelligent motion but also dynamic motion such as expressive movements. In the first study, an Adaptive Generalized Predictive Control (AGPC) was designed using kinematic/dynamic parameters estimated by dynamic parameter identification of the robot arm to allow the robot to perform tasks in response to changes in the grasped object at its end-effector. It utilize approximate linear joint model as reference model and through the motion, AGPC update the reference model and a control parameter based on a stability index. The second study is about generalized predictive control, but here, the main focus is on linearizing the dynamical system of a robot using the concept of the Koopman operator. Using this concept of the Koopman operator, a nonlinear dynamical system of a robot can be represented by a linear time-invariant state-space model. GPC was designed for the obtained linear state-space model of the robot and compared its control performance with a conventional PD controller. The results show that the GPC with Koopman operators maintains constant control performance over a wide range of postures, speeds, and work ranges compared to the PD controller with fixed gains.